

种衣剂防病虫害的研究进展

陈泽南¹, 邹甜¹, 王志伟¹, 梁少华¹, 楚箫¹, 蔡雁平¹, 孙小武²

(1. 湖南农业大学园艺园林学院, 湖南长沙 410128; 2. 湖南省瓜类工程技术研究中心, 湖南长沙 410128)

摘要 主要从种衣剂的概念、特点、组成、分类等方面进行了综述, 简介了种衣剂国内外发展进程, 分析了种衣剂在防治病虫害方面的应用, 指出了目前我国种衣剂发展存在的问题, 最后从包衣机械、应用范围、毒性、有效成分等方面对种衣剂的前景进行了展望。

关键词 种衣剂; 种子包衣; 组成; 病虫害; 发展

中图分类号 S330.2 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2018)32-0010-04

Research Progress on Preventing Plant Diseases and Insect Pests of Seed Coating Formulation

CHEN Ze-nan, ZOU Tian, WANG Zhi-wei et al (College of Horticulture and Landscape Architecture, Hunan Agricultural University, Changsha, Hunan 410128)

Abstract The concept, feature, component, classification of seed coating formulation were summarized, and its advance was presented at home and abroad, then the application on plant diseases as well as insect pests was analyzed. The current problems of seed coating in China were pointed out, finally, the prospect of seed coating agent including seed coating machine, field of application, virulence and active component was predicted.

Key words Seed coating formulation; Seed pelleting; Composition; Diseases and insect pests; Development

种子是农业生产的根本, 提高种子播种质量是提高农业生产效率的重要措施。种子自身携带的病原菌或土壤中的病原菌和地下害虫等会影响种子发芽, 如果不采取特殊的处理, 会导致病虫害爆发, 造成农作物大面积减产^[1]。种衣剂作为一种具有特殊功效的、高效、安全、环保的种子处理新技术, 是在绿色农药新剂型(如悬浮剂、微胶囊型悬浮剂)的基础上发展起来的^[2], 是提高种子科技含量、实现增产增收的重要途径, 也是国家施行“种子工程”的重要部分^[3]。种子包衣既能保障幼苗期茁壮成长又能起到防治苗期病虫害的作用, 现已被列为我国重点推广的农业技术项目。种子在催芽过程中容易发霉出现黑色斑点, 假若使用种衣剂不仅可以杀菌, 而且使得种子外观美化, 具有商品价值。显然, 与拌种剂、浸种剂 2 种传统的田间作物保护方式相比, 种子包衣更适应现代化大农业的需要, 有利于区域性的综合防治, 也有利于区域性的良种推广。

1 种衣剂概述

1.1 种衣剂的概念及特点

种衣剂是经特定工艺流程加工, 在种子表面均匀包裹一层含有农药、肥料、生长调节剂、成膜剂及配套助剂的物质产品。它可以直接或稀释后再包裹在种子表面, 形成一定强度和通透性的保护膜。它与一般的浸种和拌种等方式不同, 种子不需马上播种, 而能贮藏一年到两年。种衣剂被包裹在种子上立即固化成膜, 在土中遇水只吸胀不溶解, 而在种子周围形成一个屏障, 药肥等有效成分随着种子的发芽、成苗而缓慢释放, 逐渐被植株根系吸收, 传导到植物体内各个部位, 以达到保护种子和幼苗免受地下害虫及病菌的侵害、减少种子用量、提高种子发芽率、改善作物品质、促进作物生长等目的。

种衣剂具有以下特点: ①包衣使作物良种标准化, 丸粒

化, 商品化, 且种衣剂含有特殊警戒色料, 可防止伪劣种子流通。②便于机播和匀播。种子经丸化包衣后, 大小基本一致, 可实行精量播种, 出苗壮且一致。③防治苗期病虫害和系统侵染性病害效果显著。一次包衣, 杀虫剂往下缓慢释放, 灭绝地下害虫, 杀菌剂则往上通过内吸作用传导到地上部, 使幼苗抵制病原菌的侵害。④节约种子和农药用量, 符合绿色农业发展的理念。种衣剂内活性成分可减少苗子的死亡率。由于衣膜内农药药效期长, 长达 40~60 d, 可减少用药次数和用量, 节省劳动力, 与沟施和叶面喷施相比, 种子处理用药均较低^[4]。⑤减少环境污染, 有利于保护天敌。种子包衣用药集中, 目的性强, 能较大幅度地减少农药危害, 从而减少了人畜和害虫天敌的接触概率, 保证生态系统的安全。⑥促苗增产。种衣剂内微肥、激素等有效成分在作物苗期逐步释放, 促进幼苗生长, 增强抗逆性, 最终能提高作物产量 5%~20%^[5]。

1.2 种衣剂的组成

1.2.1 活性成分

种衣剂的活性成分主要包括农药、微肥和生长调节剂、微生物等, 是种衣剂直接发挥作用、直接反映种衣剂功效的有效成分。①农药, 包括杀菌剂和杀虫剂。杀菌剂有福美双、多菌灵、百菌清、三唑酮等。杀虫剂有吡虫啉、噻虫嗪、氟虫腈等。由于一些药剂毒性太高, 现在逐渐发展新型低毒高效的农药品种, 并由单一成分向复合成分发展, 以达到互补增效、降低病虫害抗药性的目的^[6]。②微肥, 主要是各种微量元素的集合, 主要有铜、锌、锰、硼、钼等。这些微量元素是植物生长发育所必须的, 但需求量很少。它们是植物体内多种酶或辅酶的组成成分, 对植物本身生长、发育和代谢起到促进和调节的作用。通过种衣剂里添加微量元素的方法可以改善植物的缺素症。③植物生长调节剂, 是人工合成的具有植物激素相似作用的化合物和从生物中提取的天然植物激素, 具有调节作物生长, 改善作物品质的功能。主要包括生长素类、赤霉素类、细胞分裂素类及生长

作者简介 陈泽南(1993—), 男, 湖南益阳人, 硕士研究生, 研究方向: 瓜类病害防治。* 通讯作者, 教授, 博士生导师, 从事瓜类种子生产与加工研究。

收稿日期 2018-06-06

延缓剂,如 IAA、NAA、ABT、GA3、BA、PIX、CCC 及三唑类延缓剂等。应考虑与其他成分的配伍性加以选择。④有益微生物包括芽孢杆菌、木霉菌等。

1.2.2 非活性成分。非活性成分包含种衣剂中的成膜剂及一系列助剂。其中助剂包括分散剂、渗透剂、防冻剂、乳化剂、增稠剂、稳定剂、缓释剂、警戒色料等。

成膜剂是直接影响种衣剂质量的最关键性的组分,它包被在种子表面,形成透气、透水的薄膜,其分解速度决定了种衣剂中有效成分被植物吸收的程度。成膜剂的发展,经历了从物理型到以高分子聚合物为主的化学型。成膜剂一般可分为四大类:①淀粉类,如氧化淀粉、羧甲基淀粉等。黏性小,成膜性差。②纤维素类,例如乙基纤维素、羟丙基纤维素等。黏度中等,成膜性较好。③合成高聚物类,比如聚丙烯酸酯、聚己内酯等。黏度高,成膜性好,是目前应用最广泛的成膜材料。④其他天然物质类,如碱性木质素、阿拉伯树胶等。目前,我国研究应用较多且成膜性好的成膜材料有羧甲基纤维素钠、聚苯乙烯等。

1.3 种衣剂的分类

1.3.1 按应用范围分类。①多种作物种衣剂:适用于多种作物的种衣剂,如中国农业大学研制的适用于不同地区、不同作物品种包衣的种衣剂系列型号 30 多个,主要用于水稻、小麦、玉米、棉花、大豆等^[3]。②单一作物种衣剂:只应用于一种作物,针对性强,用于其他作物时会产生药害或出现药效下降。防病防虫效果强于多种作物种衣剂。

1.3.2 按剂型分类。①干粉型种衣剂:是经气流粉碎之后搅拌均匀而制成的,生产技术要求较高。②悬浮型种衣剂:是经湿法研磨而成的悬浮分散体系,一般采用雾化包衣。生产简单,包衣效果好,但不耐贮存,固形物含量低(一般在 1%~50%),药剂与种子的质量比一般较小,在 1:50 左右。目前应用最广泛,市场上 90% 的种衣剂都是悬浮型种衣剂^[7]。③胶悬型种衣剂:是制成的胶悬分散体系。活性成分在衣膜中分布比悬浮型更均匀,包衣更牢固。④微胶囊型种衣剂:是具有一定强度的胶囊,活性成分可分散到 100 μm 以内的微粒,能有效控制其释放速率^[8]。

2 种衣剂的发展状况

2.1 国外种衣剂 早在 1886 年,美国人 Blessing 为了方便播种,用面糊给棉花种子进行丸粒化包衣。20 世纪 30 年代英国的 Germains 种子公司在禾谷类作物上首次研制出旱作物种衣剂,使之商品化。1962 年美国首先将药物融入泥浆进行简单的种子包衣。70 年代至 80 年代种衣剂在美国、德国等西方发达国家得到大力发展,在作物、蔬菜、牧草和苗木等方面广泛应用。发展新型环境友好的种衣剂是目前研究的趋势。Lizrraga-paulin 等^[9]用壳聚糖(CH)和过氧化氢比较种子包衣和幼苗喷雾对玉米物候、生化反应的影响,结果表明, H₂O₂ 种衣剂提高了富含优质蛋白的玉米品种种子发芽率,增加了株高;CH 和 H₂O₂ 的苗期喷雾对 2 个玉米品种的蛋白含量有促进作用,而对种子和幼苗的 CAT 活性无显著影响。Hotta 等^[10]研发了新型水凝卡拉胶混合物包衣材料,它们具

有生物降解、无毒、良好的吸水或持水能力等特点,能提高发芽率、出苗率和重要生长期尤其在逆境下的种子存活率。关于种衣剂的作用机理研究不深,有待加强。Smalling 等^[11]评价了种衣剂中新烟碱杀虫剂和杀菌剂的滤取及对土壤的吸附性,发现过滤效果取决于种子种类,对不同土壤类型的吸附受亲水性农药(噻虫嗪、甲霜灵)限制,而疏水性农药的分取依赖于种子种类和土壤性质。Vermeulen 等^[12]用近红外超光谱成像评价了谷物类的农药种衣剂,比传统的超高效液相色谱法更好。

2.2 国内种衣剂 种衣剂在我国起步于 1976 年,轻工业部甜菜糖业研究所对甜菜种子进行包衣处理的研究。20 世纪 80 年代,中国农业大学(原北京农业大学)率先对种衣剂进行系统性研究,李金玉等^[13]成功研制出了适用于我国不同地区、不同作物良种包衣的含有不同活性成分的种衣剂系列。到 20 世纪 90 年代,种衣剂在我国迅速发展。1991 年邵宝富等^[14]用有益微生物为活性成分研制出 ZSB 生物型种衣剂,能提高产量,改善品质,对棉花苗期病害,西瓜立枯病、炭疽病等都有抑制作用,但对虫害无防效。1994 年王洪英等^[15]改良旱作物种衣剂,以农药、微肥、激素等为活性成分,与高吸水树脂混合研制出了玉米等作物的薄膜种衣剂。如今,以北农、华农、天津科润为代表的种衣剂公司结合国内需要,相继开发了含丙硫克百威、戊唑醇、吡虫啉、高氯等杀虫、杀菌剂^[16]。

2.3 种衣剂防病虫害研究

2.3.1 棉花种衣剂。史文琦等^[17]评价了 25% 噻虫嗪·咯啉腈·精甲霜灵悬浮种衣剂 5.175 g/kg 种子对棉花立枯病和猝倒病防效效果,防效分别为 93.3% 和 92.7%,均有较好的防治效果。与对照组有效成分为 25 g/L 咯啉腈悬浮种衣剂,用药量为 0.200 g/kg 种子的防效相当。刘景坤等^[18]研究了 50% 噻虫嗪悬浮种衣剂对棉花蚜虫的防治效果,大田试验结果表明,在有效剂量为 187.5 g/hm² 的条件下,防治效果好,50% 噻虫嗪种衣剂对棉花 4、5 叶期蚜虫的防效分别达到 83.94%、53.94%。

2.3.2 玉米种衣剂。岳瑾等^[19]研究了适宜玉米生长及防治病虫害有效的种衣剂配方,选取了 6 种种衣剂设置 5 种药剂组合,结果表明高巧 300 mL+顶苗新 100 mL+立克秀 100 mL+普绿通 375 g 的增产效果最明显,对地下害虫、蚜虫、褐斑病的防效较好,达到 77% 以上。杨书成等^[20]做了 60 g/L 戊唑醇悬浮种衣剂对玉米丝黑穗病防治效果试验,结果表明该种衣剂对玉米丝黑穗病的防治效果达 57.03%~91.06%,有较好的防效,且对玉米安全,玉米增产达 25.8%~44.4%,建议在生产上推广应用。Kuhar 等^[21]利用吡虫啉、噻虫嗪包衣甜玉米种子,防治甜玉米跳甲害虫和细菌性枯萎病,结果显著降低了跳甲对叶片的侵害,与此同时也降低了细菌性枯萎病的发生。Zeng 等^[22]用天然多糖类多聚物研制了环境友好型种衣剂替代传统有毒的种衣剂,田间试验表明其对玉米小斑病防效达 93.72%,对地老虎防治达 81.29%,此外 LD₅₀ 值是传统种衣剂的 10 倍。

2.3.3 水稻种衣剂。张志敏等^[23]研究了种子包衣剂对水稻盘育秧生长的影响,表明种子包衣剂的防病效果排序为咪鲜胺>咪鲜·吡虫啉>噁霉灵>CK;3种种衣剂处理的盘育秧秧苗丙二醛含量降低、叶绿素含量和超氧化物歧化酶活性提高,且提高了秧苗的综合素质。李伟群等^[24]研究了30%吡蚜酮悬浮种衣剂对水稻出苗率、生长的影响及对稻飞虱的防控效果,结果发现在高剂量(7 g/kg种子)下包衣虽然对水稻种子出苗有一定抑制作用,但对水稻幼苗的生长起到促进作用,其作用随药剂量的增加而增强。此种衣剂对稻飞虱的防控效果较好,且防效与使用剂量也呈正比,其药后24、31、38、45、52和59 d对稻飞虱防效范围可达35.38%~97.35%。田间控制效果可达52 d。齐麟等^[25]研究了15%吡唑醚菌酯悬浮种衣剂对水稻稻瘟病菌的防治效果,发现EC₅₀为7.32 μg/L,对稻瘟病菌抑制率高的吡唑醚菌酯浓度为2.00 mg/L。

2.3.4 小麦种衣剂。毕秋艳等^[26]研究了5种种衣剂对小麦土传病害的防治效果,发现与其他药剂处理相比,230 g/L吡虫啉·苯醚·咯悬浮种衣剂综合防治效果最优,且对小麦增产有明显效果。其次按药效大小排序分别为60 g/L戊唑醇悬浮种衣剂>30 g/L苯醚甲环唑悬浮种衣剂>25 g/L咯菌腈悬浮种衣剂>15%多·福悬浮种衣剂。李铭东等^[27]探讨了用三唑酮种衣剂包衣小麦种子后对出苗生长的影响和防病增产效果。田间试验结果表明,三唑酮种衣剂基本上不影响出苗数,对冬麦区小麦条锈病和白粉病有显著的控制效果,分别达到76.2%和77.0%,产量增加8.95%;而对春麦区小麦全蚀病土传病害的防治效果达83.6%,产量增加13.09%。

2.3.5 大豆种衣剂。周园园等^[28]研发了生物种衣剂SN101,自主筛选了巨大芽孢杆菌Sneb482、简单芽孢杆菌Sneb545和费氏中华根瘤菌Sneb183等能抵制大豆胞囊线虫病的菌株,并进行了多菌株复合配比。试验结果表明SN101不妨碍大豆出苗,对大豆胞囊线虫病防效显著高于商品种衣剂(重茬丹)和空白对照,达到46.51%。能明显促进大豆产量的增加。陈申宽等^[29]选取35.6%阿维菌素、多菌灵、福美双悬浮种衣剂研究对大豆苗期病虫害的防治,对照组为常用的35%多福克种衣剂。结果表明新型种衣剂防效较好,优于35%多福克种衣剂,且包衣处理后大豆增产幅度达10.83%~15.39%,可在生产中推广应用。

2.3.6 花生种衣剂。朱秀苗等^[30]研究了不同种衣剂组合对花生病虫害的防效,结果表明,600 g/L吡虫啉悬浮种衣剂(高巧)10 g+25 g/L咯菌腈悬浮种衣剂10 mL+水100 mL拌种子4 kg处理后,在花生叶斑病和虫害的防治方面,均有较理想的效果。且该组合花生产量最高,达到7 921.05 kg/hm²,比对照组增产荚果1 342.10 kg/hm²,增幅为20.40%。丁国祥等^[31]研究了卫福和高巧种衣剂对花生病虫害的防治效果,结果表明10 mL高巧+33 mL卫福比较适合投入农业大面积生产,而10 mL高巧+25 mL卫福和10 mL优伴+25 mL卫福在提高产量和防病效果的方面相当。谢文娟^[32]研制了环保型花生种衣剂PC,通过田间试验表明其对花生根腐病、叶斑病及蛴螬等都有防治效果。

2.3.7 番茄种衣剂。李进等^[33]研究不同种衣剂对番茄品种“天粉2号”苗期立枯病和猝倒病的防效。结果发现,番茄9号种衣剂包衣处理效果最明显,5种种衣剂处理都能促进番茄生长,提高番茄种子的发芽势、发芽率、发芽指数,增加幼苗株高、茎粗、鲜重和干重。各种包衣处理能有效防治番茄苗期立枯病和猝倒病,防效相仿,达到72%~84%。张静^[34]研究了种子包衣对番茄防病壮苗效果,结果表明:与对照相比,6种杀菌剂包衣中,硫酸铜和杀毒矾包衣处理后成苗率高,对猝倒病和立枯病防效较好;同时筛选出了最佳包衣组合(300 mg/L多效唑+5%硫酸铜)对防控番茄幼苗徒长和苗期猝倒病、立枯病均有显著效果。

3 种衣剂发展存在的问题

我国种衣剂的研发相对较晚,与西方发达国家相比还有不少缺陷。主要问题有:①包衣工艺存在问题,以悬浮种衣剂为例,包衣率低、种衣易脱落、衣膜易溶于水;②种衣剂中的多数杀菌剂、杀虫剂属于高毒或中毒农药,有副作用,其中杀菌剂会表现药害,抑制幼苗生长,杀虫剂则主要表现在药剂残留方面^[35]。农药的使用,往往会污染环境和对人畜安全造成威胁;③各种药剂在包衣配方中最佳用量未能定量^[36];④抗逆境种子包衣剂研究较少,如抗旱、抗寒、pH调节等特异性种衣剂^[37];⑤目前我国种衣剂主要推广于大田作物,而在高附加值的蔬菜及花卉种子中的推广很少^[4]。

4 展望

经过20多年发展,种衣剂被广泛应用,由于其防效显著且环保,受到广大种植户的喜爱。种子包衣是融种子、农药、机械等多学科为一体的一项先进技术。种衣剂的应用,使化学药剂的施用方式由叶面施用转变为种子处理,大大地减少了农药用量及施用次数,为作物简化栽培做出重大贡献,对环境相对安全,具有非常广阔的发展前景^[38]。

为了使种衣剂合理、迅速地推广应用,笔者认为应该做到以下几点:①研发新型种子包衣机械,提高自动化程度,改善包衣效果^[36]。②研发专用型抗逆性种衣剂,使种子在特殊环境下有抵抗能力。③扩大种衣剂的应用范围,推广适合蔬菜等高附加值作物的种衣剂^[37]。④种衣剂的发展方向应为高效、低毒低残留、有效成分含量高,由于化学农药大面积的使用会污染环境,这就为研发生物防治型种衣剂中提供了契机。但是生物型种衣剂的使用效果容易受环境影响或短期内无法凸显,如O' Callaghan等^[39]研发荧光假单胞菌种衣剂,发现该细菌对温湿度要求较高。将生防菌引入种衣剂中有两种发展趋势:多种生防菌共存组成多功能生物制剂;将生物防治剂与化学农药进行复配^[6]。⑤研制天然物质作为替代种子包衣的材料^[40]。

参考文献

- [1] 颜启传.种子学[M].北京:中国农业出版社,2001.
- [2] 高云英,谭成侠,胡冬松,等.种衣剂及其发展概况[J].现代农药,2012,11(3):7-10.
- [3] 吴学宏,刘西莉,王红梅,等.我国种衣剂的研究进展[J].农药,2003,42(5):1-5.
- [4] 吴凌云,李明,姚东伟.化学农药型种衣剂的应用与发展[J].农药,2007,46(9):577-579,590.

- [5] 熊远福, 邹应斌, 唐启源, 等. 种衣剂及其作用机制[J]. 种子, 2001(2): 35-37.
- [6] 刘青, 王恩文. 我国种衣剂的研究进展[J]. 林业调查规划, 2012, 37(5): 44-46.
- [7] 潘立刚, 刘惕易, 陶岭梅, 等. 种衣剂及其关键技术评述[J]. 农药, 2005, 44(10): 437-440.
- [8] 冯建国. 浅谈种衣剂的研究开发[J]. 世界农药, 2010, 32(1): 48-52.
- [9] LIZRRAGA-PAULIN E G, MIRANDA-CASTRO S P, MORENO-MARTINEZ E, et al. Maize seed coatings and seedling sprayings with chitosan and hydrogen peroxide: Their influence on some phenological and biochemical behaviors[J]. Journal of Zhejiang University(Science B), 2013, 14(2): 87-96.
- [10] HOTTA M, KENNEDY J, HIGGINBOTHAM C, et al. Synthesis and characterisation of Novel ι -carrageenan hydrogel blends for agricultural seed coating application[J]. Applied mechanics and materials, 2014, 679: 81-91.
- [11] SMALLING K L, HLADIK M L, SANDERS C J, et al. Leaching and sorption of neonicotinoid insecticides and fungicides from seed coatings[J]. Journal of environmental science and health, Part B, 2017, 53(3): 176-183.
- [12] VERMEULEN P, FLÉMAL P, PIGEON O, et al. Assessment of pesticide coating on cereal seeds by near infrared hyperspectral imaging[J]. Journal of spectral imaging, 2017, 6: 1-7.
- [13] 李金玉, 刘桂英. 良种包衣新产品——药肥复合型种衣剂[J]. 种子, 1990(6): 53-56.
- [14] 邵宝富, 王忠明, 陈希萍, 等. ZSB 系列种衣剂试验示范结果总结[J]. 浙江农业科学, 1995(1): 14-16.
- [15] 王洪英, 高峰, 李大伟. 抗旱型种子复合包衣剂及制做方法: CN1108878 [P]. 1995-09-27.
- [16] 王彦军. 我国种衣剂应用现状及应对措施[J]. 种子世界, 2014(4): 63-64.
- [17] 史文琦, 向礼波, 龚亚军, 等. 25% 噻虫嗪·咯菌腈·精甲霜灵悬浮种衣剂对棉花立枯病和猝倒病防效评价[J]. 湖北农业科学, 2017, 56(23): 4523-4526.
- [18] 刘景坤, 刘润峰, 宋建华, 等. 50% 噻虫嗪悬浮种衣剂的研制及其对棉花蚜虫的防治效果[J]. 农药学报, 2015, 17(1): 60-67.
- [19] 岳瑾, 王品舒, 张金良, 等. 不同种衣剂对玉米生长及病虫害防治效果研究[J]. 农业科技通讯, 2017(6): 70-73.
- [20] 杨书成, 王燕, 王建军, 等. 60g/L 戊唑醇悬浮种衣剂对玉米丝黑穗病防治效果试验[J]. 南方农业学报, 2011, 42(11): 1350-1352.
- [21] KUHAR T P, STIVERS-YOUNG L J, HOFFMANN M P, et al. Control of corn flea beetle and stewart's wilt in sweet corn with imidacloprid and thiamethoxam seed treatments[J]. Crop protection, 2002, 21(1): 25-31.
- [22] ZENG D F, FAN Z, TIAN X, et al. Preparation and mechanism analysis of an environment-friendly maize seed coating agent[J]. Journal of the science of food and agriculture, 2018, 98(8): 2889-2897.
- [23] 张志敏, 邓亮, 许炜, 等. 种子包衣剂对水稻盘育秧生长的影响[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(6): 52-56.
- [24] 李伟群, 刘晓亮, 黄秀枝, 等. 30% 吡蚜酮悬浮种衣剂对水稻的安全性及对稻飞虱的防控效果[J]. 南方农业学报, 2014, 45(11): 1976-1980.
- [25] 齐麟, 王翌翔, 段一鸣, 等. 15% 吡啶啉菌酯悬浮种衣剂的制备及性能[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(16): 82-86.
- [26] 毕秋艳, 马志强, 韩秀英, 等. 5 种种衣剂防治小麦主要土传病害研究[J]. 植物保护, 2014, 40(4): 171-176, 184.
- [27] 李铭东, 李惠霞, 赵桂琴, 等. 三唑酮种衣剂对小麦生长的影响及防病增产效应[J]. 中国农学通报, 2014, 30(1): 316-320.
- [28] 周园园, 王媛媛, 朱晓峰, 等. 生物种衣剂 SN101 的研制及其对大豆胞囊线虫病的防效[J]. 中国油料作物学报, 2014, 36(4): 513-518.
- [29] 陈申宽, 闫路海, 刘玉良, 等. 35.6% 阿维菌素·多菌灵·福美双悬浮种衣剂对大豆苗期病虫害的防治试验[J]. 植物医生, 2008(3): 38-40.
- [30] 朱秀苗, 王道亮, 赵贤良, 等. 不同种衣剂组合对花生病虫害的防效研究[J]. 现代农业科技, 2017(10): 113-114.
- [31] 丁国祥, 孙建芳, 韩桂琴, 等. 卫福和高巧种衣剂组合对花生病虫害的防治效果[J]. 安徽农业科学, 2014, 42(4): 1011-1013, 1026.
- [32] 谢文娟. 环保型花生种衣剂的研制及作用机理研究[D]. 武汉: 武汉理工大学, 2015.
- [33] 李进, 李杰, 段俊杰, 等. 不同种衣剂对番茄苗期两种病害的防效及其产量的影响[J]. 北方园艺, 2017(9): 111-115.
- [34] 张静. 种子包衣对番茄防病壮苗效果的研究[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2007.
- [35] 吉庆勋, 韩松, 王娟, 等. 小麦、玉米种衣剂副作用研究进展[J]. 农药, 2013, 52(12): 865-867, 870.
- [36] 赵磊磊, 聂立水, 朱清科, 等. 种子包衣及其在中国的应用研究[J]. 中国农学通报, 2009, 25(23): 126-131.
- [37] 李新娜, 陈俊霞, 苏文勇, 等. 种衣剂现状及发展方向[J]. 河北农业科学, 2015, 19(3): 43-45, 99.
- [38] 张繁, 张海清. 种子包衣技术研究现状及展望[J]. 作物研究, 2007, 21(5): 531-535.
- [39] O' CALLAGHAN M, SWAMINATHAN J, LOTTMANN J, et al. Seed coating with biocontrol strain *Pseudomonas fluorescens* fl13[J]. New Zealand plant protection, 2006, 59: 80-85.
- [40] 张静, 胡立勇. 农作物种子处理方法研究进展[J]. 华中农业大学学报, 2012, 31(2): 258-264.

(上接第9页)

- [42] 姜洋, 罗远恒, 顾雪元. 农田土壤镉污染的原位钝化修复及持久性研究[J]. 南京大学学报(自然科学), 2017, 53(2): 265-274.
- [43] LIANG X F, HAN J, XU Y M, et al. Sorption of Cd²⁺ on mercapto and amino functionalized palygorskite[J]. Applied surface science, 2014, 322: 194-201.
- [44] ZHOU H, ZHOU X, ZENG M, et al. Effects of combined amendments on heavy metal accumulation in rice (*Oryza sativa* L.) planted on contaminated paddy soil[J]. Ecotoxicology and environmental safety, 2014, 101: 226-232.
- [45] 曾卉, 周航, 邱琼瑶, 等. 施用组配固化剂对盆栽土壤重金属交换态含量及在水稻中累积分布的影响[J]. 环境科学, 2014, 35(2): 727-732.
- [46] 孙婷婷, 徐磊, 周静, 等. 羟基磷灰石-植物联合修复对 Cu/Cd 污染植物根际土壤微生物群落的影响[J]. 土壤, 2016, 48(5): 946-953.
- [47] ZHANG H X, ZENG X B, BAI L Y, et al. Reduced arsenic availability and plant uptake and improved soil microbial diversity through combined addition of ferrihydrite and *Trichoderma asperellum* SM-12F1[J]. Environmental science and pollution research, 2018, 25(24): 24125-24134.
- [48] LI J R, XU Y M. Evaluation of palygorskite for remediation of Cd-polluted soil with different water conditions[J]. Journal of soils and sediments, 2018, 18(2): 526-533.
- [49] 徐奕, 李剑睿, 徐应明, 等. 膨润土钝化与不同水分灌溉联合处理对酸性稻田土壤镉污染修复效应及土壤特性的影响[J]. 环境化学, 2017, 36(5): 1026-1035.
- [50] RIZWAN M, ALI S, REHMAN M Z, et al. Lead toxicity in cereals and its management strategies: A critical review[J]. Water air and soil pollution, 2018, 229(6): 211.

名词解释

来源文献量: 指来源期刊在统计当年发表的全部论文数, 它们是统计期刊引用数据的来源。

文献选出率: 按统计源的选取原则选出的文献数与期刊的发表文献数之比。

参考文献量: 指来源期刊论文所引用的全部参考文献数, 是衡量该期刊科学交流程度和吸收外部信息能力的一个指标。

平均引文数: 指来源期刊每一篇论文平均引用的参考文献数。

平均作者数: 指来源期刊每一篇论文平均拥有的作者数, 是衡量该期刊科学生产能力的一个指标。

地区分布数: 指来源期刊登载论文所涉及的地区数, 按全国 31 个省区市计(不包括港澳台)。这是衡量期刊论文覆盖面和全国影响力大小的一个指标。